Análisis de Riesgo Ambiental

Introducción y conceptos básicos

M.Sci. Laura Pruzzo
Departamento de Producción Animal, Facultad de Agronomía UBA

---

1. *Definiendo el riesgo*

Qué es riesgo? Cuáles son la herramientas y métodos utilizados para evaluar riesgos sanitarios o ambientales, y cuáles son las limitaciones, incertidumbres y sesgos de estos métodos? Cómo pueden utilizarse los resultados hallados mediante estos métodos?

Este curso tratará acerca del cálculo y de la modelación de riesgos ambientales, y a lo largo del mismo veremos qué debemos calcular, y porqué deseamos hacerlo. Lo primero que debemos hacer es definir el riesgo.

Cuando se formó en los Estados Unidos la Sociedad de Análisis de Riesgo, su primera medida fue establecer un comité de expertos para definir el término "riesgo". Este comité trabajó durante cuatro años y luego se dio por vencido, diciendo en su informe final, que es mejor no definirlo, y que cada autor lo defina a su manera, explicando claramente de qué se trata... (Kaplan, 1997).

Presentamos una primera definición, es la enunciada por Kammen y Hassenzahl (2001):
"*Riesgo es la probabilidad de que ocurra cierto resultado, multiplicado por la consecuencia, o el nivel de impacto de dicho resultado, si ocurriera*"

2. *Otras definiciones y enfoques*

Los orígenes de la palabra riesgo se remontan al latín *re* - hacia atrás y *secare* - cortar; y a través del italiano *risco*; por lo tanto, originalmente significaba el peligro asociado a navegar alrededor de rocas filosas

Para Cifuentes (2003) el concepto de riesgo es multidimensional, e involucra al menos dos aspectos: 1. la posibilidad de un evento no deseable, y 2. la incertidumbre sobre la ocurrencia, ocasión y magnitud de dicho evento.

Qué ocurre en otras disciplinas?
En la ciencia actuaria, el riesgo se entiende como la eventualidad de que ocurra un hecho capaz de producir daño. En el marco de la teoría financiera, el riesgo es la dispersión o variabilidad en los resultados, tal que a mayor

variabilidad, mayor riesgo. Buscando una definición más general en finanzas, Holton (2004) consideró varias situaciones que involucran riesgo; y en cada una de ellas detectó dos componentes esenciales: exposición e incertidumbre. Entonces, riesgo es la exposición a una propuesta acerca de la cual existe incertidumbre.

En importación y exportación de animales o productos de origen animal, el riesgo es la probabilidad de introducción de una enfermedad exótica, y la gravedad de las consecuencias de dicho resultado (North, 1995). Vemos que, si se amplía esta definición a la probabilidad de ocurrencia de un resultado adverso y a la severidad de dicho resultado, esta definición está comprendida en la que se ha presentado inicialmente.

Pregunta 1: Podría Ud. citar alguna otra definición?

El *análisis de riesgo* es una *evaluación* de la probabilidad de ocurrencia de un evento adverso ***y*** de la magnitud de su impacto, si ocurriera.

3. Motivaciones para el análisis de riesgo (AR)

Recientemente, el AR se ha sugerido como una herramienta fundamental para la toma de importantes decisiones ambientales por parte de instituciones como la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US-EPA).
Los expertos involucrados deben tomar decisiones enfrentando incertidumbre y utilizando información incompleta. Los resultados de estas decisiones pueden afectar enormes cantidades de personas, así como la balanza comercial internacional. Se ha probado que el AR es un método efectivo para proveer a los expertos de información más completa, a fin de ayudarlos a tomar tales decisiones y a evaluar mejor su impacto.

Porqué conducir AR? Cualquier actividad humana tiene asociado cierto riesgo. ¿Cómo identificar los riesgos potenciales? ¿Cómo jerarquizar los ya identificados? ¿Cuáles son aceptables y cuáles se deben reducir? El AR es la herramienta que permite cuantificar estos riesgos, para poder tomar las decisiones correctas acerca de ellos. Más específicamente, el AR **ambiental** comprende la evaluación de información acerca de las propiedades peligrosas de los *agentes ambientales*, y de la exposición humana a dichos agentes. El producto de esta evaluación es la *probabilidad* de que la población expuesta sufra un cierto efecto o daño. Como ejemplos, citamos: residuos de pesticidas en alimentos, aislantes que contienen fibras de asbestos, pinturas habitacionales que contienen plomo, posibles explosiones de gasoductos.

En el campo del AR ambiental es necesario definir el concepto de *peligro* (en inglés *hazard*) como el evento, situación, agente o elemento que tiene el potencial de producir efectos adversos o consecuencias indeseables. Esto se produce cuando existe una *exposición* que posibilita las condiciones adversas, e interesa la magnitud de dicha consecuencia. Los agentes liberados pueden

ser químicos, físicos, biológicos, formas de energía; y liberarse en el aire, suelo, agua superficial o subterránea. Finalmente, entendemos por *mitigación* la acción que reduce el riesgo de producir daño por parte un agente dado.
Nótese que en este punto debemos diferenciar los dos conceptos: peligro, es el potencial de producir la enfermedad, herida, daño, pérdida; en tanto que riesgo es la *probabilidad* de tal enfermedad, herida, daño, pérdida así como la magnitud o severidad de ello.

Pregunta 2.: Podría Ud. dar ejemplos y clasificar agentes dañinos o peligrosos?
Ejemplos:

- ✓ En seguridad alimentaria: Escherichia coli en carnes, Salmonella en huevos, mercurio en pescados.
- ✓ En salud humana: malos hábitos alimentarios, stress, exposición a enfermedades.
- ✓ En sanidad animal: introducción de enfermedades vía importación (aftosa, vaca loca).
- ✓ En sanidad vegetal: introducción de enfermedades en importación de frutas.

Clasificación de los agentes

- Químicos: liberación de productos tóxicos por procesos industriales.
- Térmicos: explosión de un reactor.
- Mecánicos: energía cinética de un objeto en movimiento
- Radiaciones: radiación liberada de una planta nuclear.
- Biológicos

Entonces, los ejemplos citados podrían agruparse (según Cifuentes, 2003):
Agentes químicos: corrosivos, reactivos, explosivos, tóxicos, inflamables
Agentes físicos: material en suspensión, agua de inundación, polvo de cemento, etc.
Agentes biológicos: virus y bacterias
Agentes energéticos: calor, presión, radiación electromagnética, radiación UV, radioactividad

4. Etapas del AR

North (1995) considera que el AR es una conjunción de arte y ciencia, que comprende las siguientes etapas:

1. Identificación. Deben incluirse todos los potenciales resultados adversos.
2. Evaluación. Proceso en el cual se debe estimar, lo más objetivamente posible, la probabilidad de los eventos adversos.
3. Manejo. Implementación de medidas para reducir el riesgo a niveles aceptables
4. Comunicación a los tomadores de decisiones y público.

En 1983, el National Research Council (NRC) describió cuatro etapas para conducir evaluaciones de riesgos a la salud:

1. Identificación de peligros. Determinación de la asociación –o no- de un determinado químico a un efecto particular sobre la salud.
2. Evaluación de dosis-respuesta. Caracterización de la incidencia de efectos (respuesta) que resultan de la exposición al agente de riesgo.
3. Determinación de la exposición (contacto) de los sujetos de interés con los agentes
4. Caracterización del riesgo. En este punto debe realizarse la evaluación cuantitativa del riesgo.

En la etapa de identificación del peligro, se deben analizar las características químicas, biológicas y toxicológicas del agente e identificar la posibilidad de consecuencias de gran magnitud.
El proceso de evaluación dosis-respuesta involucra modelar la relación entre la dosis administrada o recibida y la incidencia de efectos en la población expuesta; es decir, relaciona la dosis con la respuesta de interés. Asimismo interesa la existencia de umbral, y la forma de la relación.
En la etapa de determinación de la exposición, debe caracterizarse la magnitud, frecuencia y duración de la exposición para las poblaciones representativas. La exposición humana puede ocurrir a través de la inhalación de aire contaminado, por contacto dérmico, y por la ingestión de agua, suelo o alimento contaminado; otros parámetros que la caracterizan son el peso o la edad de la población expuesta, etc.
Finalmente la caracterización del riesgo será la etapa de integración para producir medidas cuantitativas de riesgo.

Miller et al (1993) describieron el proceso de análisis cuantitativo de riesgo. Esencialmente, éste intenta hallar respuesta a tres interrogantes:

- ¿Qué puede salir mal?
- ¿Cuál es la posibilidad de que esto ocurra?
- ¿Cuáles serían las consecuencias?

Los autores enfocaron su desarrollo en la evaluación del riesgo de introducción de una enfermedad exótica, y establecieron que el proceso utilizado se compone de nueve etapas:

a) Establecer la pregunta de interés
b) Identificar el peligro
c) Desarrollar un diagrama de árbol de los posibles escenarios
d) Asignar unidades
e) Reunir y documentar evidencia
f) Asignar valores a las ramificaciones
g) Efectuar cálculos y resumir la probabilidad de ocurrencia del peligro
h) Considerar opciones de manejo del riesgo
i) Preparar un informe escrito

5. Caracterización del riesgo

Utilizando un nivel de riesgo de uno en un millón (enfrentar un cierto peligro implica un incremento de 0,000001 en la chance de morir por dicho peligro),

Wilson (1979) comparó algunos riesgos de la vida diaria y otros menos comunes. Sus resultados indicarían que, el peligro de un accidente por viajar seis minutos en una canoa, es “igual” a vivir 150 años a veinte millas de una planta nuclear. Pero tiene sentido esta comparación? No hay una indicación de la certeza asociada a las estimaciones. El verdadero análisis debe surgir de un trabajo más profundo, que permita identificar la forma y variabilidad de la distribución de riesgos, la confianza asociada a cada estimación, y la incertidumbre generada por las limitaciones en la información disponible. Hasta que los riesgos no sean bien caracterizados de esta forma- y es el objetivo de este curso- es difícil aún esbozar la menor comparación o jerarquización de riesgos.

En la etapa de caracterización del riesgo, se obtienen estadísticos sumarios que miden el riesgo para sustancias no carcinogénicas y para sustancias carcinogénicas. En el primer caso, si existe un umbral, se debe asegurar un nivel menor que éste; el riesgo se define como un cociente entre la dosis actual y la dosis permitida: el Indice de Peligro (Hazard Quotient).

Para las sustancias carcinógenas se debe calcular el riesgo *individual* y compararlo con algún patrón; y posteriormente se informa el riesgo *poblacional* o social.

Riesgo Individual
Las estimaciones de riesgo de cáncer se expresan como una probabilidad estadística, representada en notación científica como un exponente negativo de diez. Por ejemplo, el riesgo adicional de contraer cáncer de una chance en diez mil se escribe :
1×10^{-4} o bien, 1E-04
Esto significa que, por cada 10.000 personas expuestas en la forma asumida al evaluarse la exposición, una de esas personas podría desarrollar cáncer a lo largo de su vida.
Del mismo modo, una estimación de riesgo individual de contraer cáncer de una chance en un millón sería:
1×10^{-6} o bien 1E-06

Riesgo poblacional o social: la incidencia de cáncer en la población
Las estimaciones de riesgo de cáncer pueden expresarse como la incidencia de casos en una determinada población. Por ejemplo, la incidencia estimada de cáncer en una población de quinientos mil individuos, en donde el índice de riesgo individual es 1E-05, sería:

500.000 individuos x 10^{-5} / 70 años de expectativa de vida = 0,07 nuevos casos de cáncer por año

En la etapa de investigación de antecedentes del análisis de riesgo, los estimadores son típicamente determinísticos, basados en estimaciones puntuales de toxicidad y exposición. Estos son ciertamente útiles como veremos en próximas entregas; pero necesitan ser validados por una discusión pertinente de la naturaleza y alcance de las incertidumbres en las variables de

entrada, así como el subsecuente (y probable) impacto en la caracterización final del riesgo.

Es importante destacar que al caracterizar la exposición y el riesgo, se utilizan valores promedio o bien, valores "conservadores" de las variables. En tanto éstos resultan sencillos de utilizar, debe tenerse en cuenta que no representan las condiciones que experimenta la mayoría de las personas, quienes variamos en la mayoría de los atributos. No todos pesamos igual, o consumimos igual cantidad de agua o cierto alimento, o tenemos los mismos hábitos. Por lo tanto, toda evaluación de riesgo deberá incluir el análisis de la variabilidad e incertidumbre presentes.

6. Variabilidad e incertidumbre

6.1 Variabilidad versus incertidumbre

Es recomendable distinguir entre *incertidumbre*, que representa una falta de conocimiento de los factores que afectan el riesgo y *variabilidad*, que surge de la verdadera heterogeneidad entre las personas, lugares o momentos. En otras palabras, la incertidumbre puede llevar a estimaciones imprecisas o sesgadas, en tanto que la variabilidad puede afectar el grado en que una estimación puede generalizarse. Ambos conceptos, pueden complementarse o superponerse, o bien pueden estar confundidos. Sin embargo, deben tratarse separadamente, porque cada uno tiene diferentes implicancias en un contexto de toma de decisiones. El conocimiento de la variabilidad se utilizará para identificar aquellas subpoblaciones que enfrentarían los mayores riesgos (niños, asmáticos, operarios en contacto con químicos); en tanto que la información sobre las fuentes de incertidumbre se utilizará para priorizar políticas de recolección de datos o líneas de investigación para mejorar las estimaciones de riesgo. La existencia de variabilidad implica que una única acción o estrategia no será la óptima para todos los individuos. La existencia de incertidumbre implica que podríamos tomar una decisión subóptima porque podemos esperar cierto resultado, pero podría ocurrir algo totalmente diferente. Según el National Research Council (NRC, 1994) "La incertidumbre lleva a evaluar cuán *probable* es que los riesgos sean sobre o sub- estimados para cada miembro de la población expuesta, en tanto que la variabilidad obliga a enfrentar la *certeza* de que diferentes individuos serán expuestos a riesgos tanto por arriba como por debajo de cualquier punto de referencia que se elija"
En conclusión, la apreciación de la variabilidad en el AR debe conducir a un mejor entendimiento de la distribución de riesgos, incrementando las oportunidades de reducirlos para los grupos de mayor riesgo; en tanto que la apreciación de la incertidumbre conduciría a la búsqueda de información más valiosa. Esta última, surge de una representación incompleta o inapropiada de la variabilidad estocástica y de la incertidumbre asociada a los resultados futuros.

6.2 Variabilidad, definición y tipos

La variabilidad se genera en las diferencias atribuibles a la heterogeneidad o diversidad en la población. Existe como resultado de las diferencias naturales entre personas, animales, plantas, células o microorganismos; es decir, abarca las variaciones en edad, peso corporal, altura, consumo de agua, etc. Asimismo incluye la variabilidad climática, en tipos de suelos, en concentración de contaminantes.
La variabilidad se refiere a diferencias reales en los valores de una cantidad, de un individuo a otro o en otra población; la implicancia en AR es que existe certeza de que diferentes personas tienen diferentes exposiciones y diferentes riesgos, por lo tanto al desarrollar estrategias de manejo del riesgo para proteger a una población, es importante entender la variabilidad dentro de ella.

La variabilidad puede medirse pero pocas veces reducirse

La variabilidad al estimar exposición se relaciona con la ubicación, actividad, conducta o preferencias de un individuo en un momento particular, así como tasas de emisión y procesos físicos y químicos que afectan la concentración en distintos medios (aire, suelo, alimentos, agua). Estas variaciones no necesariamente son independientes entre sí.
Pueden distinguirse tres tipos de variabilidad:
Espacial: entre localidades a novel regional o a una escala menor. Por ejemplo, el consumo de pescado en un país puede variar según la región, siendo mayor en las localidades costeras o próximas a grandes cuerpos de agua; o bien la actividad industrial puede afectar el nivel de un contaminante. En general, altas exposiciones tienden a estar asociadas a la cercanía a la fuente de contaminación.
Temporal: se refiere a variaciones en el tiempo, a corto plazo (variación diaria, días de semana vs. fines de semana) o a largo plazo (variaciones estacionales del clima)
Inter-individual: de dos tipos, 1) características tales como edad o peso, y 2) patrones de comportamiento o actividades. A su vez, cada una se deberá a varios fenómenos subyacentes.

6.3 Afrontando la variabilidad

Podemos distinguir cuatro formas de tratar la variabilidad en las evaluaciones de riesgo ambiental. La primera, es ignorarla y esperar lo mejor. Esta estrategia podría funcionar cuando hay escasa variabilidad. La segunda estrategia involucra desagregar la variabilidad en alguna forma explícita, para describirla o interpretarla mejor, considerarando todos los subgrupos o subpoblaciones relevantes. La tercera estrategia consiste en considerar el valor medio o promedio de una cantidad variable, también válida cuando se sabe que la variabilidad es pequeña. Finalmente, puede caracterizarse la variabilidad mediante el rango entre valores extremos y una medida de tendencia central. A continuación, en el cuadro 1 se consignan las cuatro estrategias.

Cuadro 1. Estrategias para tratar la variabilidad

Estrategia	Ejemplo	Comentario
Ignorar	Asumir 70 kg para adultos	Funciona cuando la variabilidad es reducida
Desagregar	Desarrollar dist.peso para grupos etarios/género	La variabilidad será menor dentro de cada grupo
Valor medio	Usar el peso promedio de adultos	El promedio puede estimarse en forma confiable, dada la variabilidad conocida?
Máx. y mín.	Usar el extremo inferior de la distribución de peso	Enfoque conservador- puede llevar a estimaciones poco realistas si se toma para todos los factores

Fuente: US EPA Exposure Factors Handbook (1997)

6.4 La incertidumbre en análisis de riesgo

La *incertidumbre* puede definirse como la *falta de conocimiento preciso o desconocimiento* de las causas que determinan el comportamiento de un sistema real. También, como la falta de conocimiento del valor verdadero de una cantidad desconocida. Esto implica que no se puede describir con certeza el comportamiento del sistema y debe realizarse entonces un análisis de riesgo, tomando decisiones en un contexto de incertidumbre.

La magnitud de la incertidumbre es difícil de medir pero puede reducirse a través de un mayor conocimiento del sistema o con un mayor número de datos.

Porqué interesa la incertidumbre a un evaluador de riesgo? Aún cuando existan datos, se requerirán supuestos o inferencias porque pueden no estar disponibles para todos los aspectos del análisis. Más aún, los datos disponibles pueden ser de calidad dudosa o poco confiable. Adicionalmente, Morgan y Henrion (1990) señalaron otras razones :

- ✓ En el AR debe combinarse información de distintas fuentes y distinta calidad.
- ✓ Debe decidirse acerca de dedicar recursos – y cómo hacerlo- para adquirir información adicional.
- ✓ Puede haber estimaciones sesgadas o poco precisas.
- ✓ Pueden identificarse factores de importancia y/o posibles fuentes de desacuerdo en la toma de decisiones.

Es importante destacar que en el manejo de incertidumbre, los resultados de análisis previos pueden ser útiles y mejorar los subsiguientes análisis. Así, el AR tiende a un proceso iterativo, comenzando con la investigación de antecedentes – en donde podrá detectarse la necesidad de un análisis a mayor

profundidad, con el objetivo de reducir la incertidumbre de las estimaciones iniciales.

6.5. Incertidumbre: categorías y formas de reducirla

La incertidumbre puede clasificarse en tres categorías o tipos:

i. Incertidumbre en los escenarios
ii. Incertidumbre en los parámetros
iii. Incertidumbre en el modelo

El tipo i) es atribuible a la falta de información o a información insuficiente necesaria para definir completamente factores de riesgo como dosis y exposición. Es decir, ocurre una falta de datos, o conocimiento incompleto de las condiciones físicas, económicas o regulatorias, futuras o actuales del modelo. O bien, el análisis resulta incompleto por no considerar algún factor o efecto.
La categoría ii) corresponde a errores de muestreo, extrapolación, medición o inconsistencias entre los valores medidos y los utilizados en el modelo. Si hay más información puede haber más conocimiento para inferir el valor verdadero de una cantidad desconocida.
En iii), existen baches en la teoría científica requerida para predecir sobre la base de inferencias causales, ecuaciones formuladas en forma impropia, o uso de modelos incorrectos. En el cuadro 1 se resumen las fuentes y ejemplos correspondientes a cada categoría.

Cuadro 2. Tipos de incertidumbre, origen y ejemplos asociados

Tipo	Origen	Ejemplos
Escenario	Errores descriptivos	Información insuficiente
	Errores de agregación	Aproximaciones espaciales o temporales
	Análisis incompleto	Ignorar un factor o vía importante
Parámetros	Errores de medición	Sesgo o imprecisión en los datos
	Errores de muestreo	Muestras no representativas
*	Datos genéricos	Químicos semejantes * *
Modelo	Errores de asociación	Inferencia incorrecta de correlaciones
	Errores de modelización	

Fuente: US EPA Exposure Factors Handbook (1997)

* Por datos genéricos (*surrogate data*) nos referimos a datos generalizados. Por ejemplo, patrones de consumo de ciertos alimentos que no están disponibles para ciertas subpoblaciones.
** En modelos de calidad de aire, pueden agruparse químicos de estructura o características similares.

Como habíamos establecido previamente, la incertidumbre proviene del desconocimiento o de errores en la medición, pero puede reducirse con un buen análisis o con más y mejores datos. Por lo tanto, las estrategias para reducirla involucran necesariamente, la eliminación de los baches de conocimiento. Por ejemplo, 1) recolectar nuevos datos usando una muestra de mayor tamaño, un método de medición más directo, o una población más apropiada, y 2) utilizar herramientas más sofisticadas de modelación y análisis. En el cuadro 3 se consignan los enfoques cuantitativos para el análisis de la incertidumbre.

Cuadro 3. Enfoques para el análisis cuantitativo de la incertidumbre

Enfoque	Descripción	Ejemplo
Análisis de Sensibilidad	Cambiar una variable por vez y examinar resultado	Tomar valores mínimos y máximos de una dejando resto cte. Por ej. en el valor medio
Análisis probabilístico	Considerar las distribuciones de probabilidad de cada variable de exposición	Para cada variable, muestrear valores y aplicar en el modelo
Métodos Estadísticos clásicos	Estimar directamente la distribución a partir de una muestra representativa	Computar intervalos de confianza para varios percentiles de la distribución de exposición

Fuente: US EPA Exposure Factors Handbook (1997)

El análisis de sensibilidad puede utilizarse para considerar el impacto de la incertidumbre. Tradicionalmente, se conduce cambiando una variable por vez, y mostrando como cambian los resultados del modelo según el rango de valores posibles de dicha variable. En tanto como analistas vamos hacia un número muy grande de factores, cada uno con variabilidad, ocurre una transición del análisis de sensibilidad al análisis probabilístico de la incertidumbre, típicamente utilizando métodos de simulación como Montecarlo.
Sobre la base de la información de expertos, el análisis probabilístico se utiliza en análisis de riesgo para estimar variabilidad e incertidumbre en la *dosis media diaria de por vida*, dado que la distribución de sus variables ha sido identificada y se ha definido el modelo de cálculo.

7. Bibliografía

Burmaster,W. y Wilson, J. 1996. Risk assessment for chemicls in the environment. Invited by the editors of the Encyclopedia of Biostatistics.

Cifuentes, A. 2003. Metodología de análisis de riesgo. Notas curso de Gestión Ambiental, Pontificia Universidad Católica de Chile.

Corey, G. 1995. Evaluación del riesgo asociado a contaminación del aire. Curso CEPIS - Organización Panamericana de la Salud

Downtown, M., Cullen, H., Morss, R. y Wilhelmi,O. 2004. Problems of climate variability and uncertainty in flood hazard planning for the Colorado range. Proc. 17th Conference on Hidrology, Seattle, USA.

Frey, C., Zheng, J., Zhao, Y. y Li, S. 2002. Analysis of Variability and Uncertainty. Technical notes. Office of research and development US EPA.

Holton, G. 2004. Defining risk. Financial Analysts Journal, 60 (6). 19-25.

Kammen, D. y Hassenzahl, D. 2000. Should we risk it? Exploring environmental, health and technological problem solving. Princeton University Press.

Kaplan, S. 1997. The words of risk analysis. Risk Analysis, 17 (4). 407-417

Miller, L., McElvaine, R., McDowell, R. y Ahl,L. Developing a quantitative risk assessment process. OIE Rev. Sci. Tech. 12(4) 1153-1164.

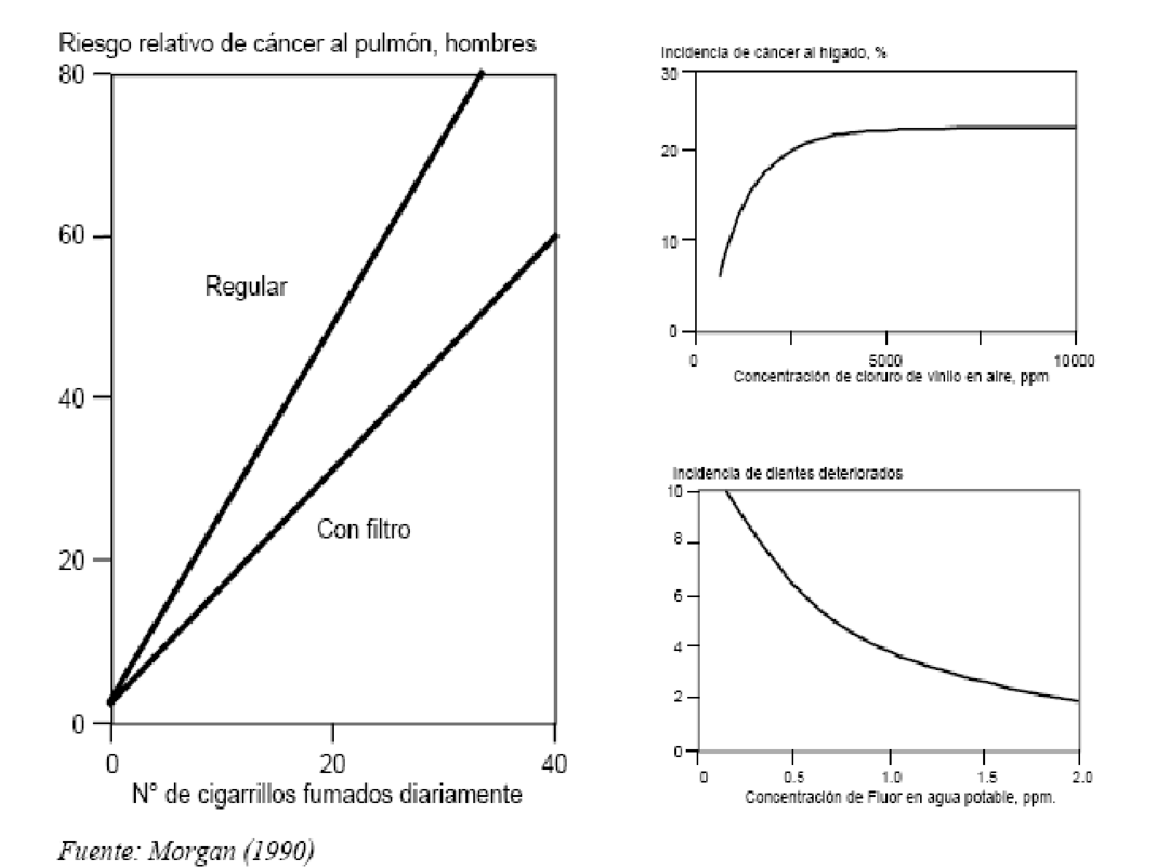
National Research Council. 1994. Science and Judgement in Risk assessment. Washington D.C. National Academy Press.

North,W. 1995. Limitations, definitions, principles and methods of risk analysis. OIE Rev. Sci. Tech. 14(4) 913-923.

Osborne, M., Elvaine,A., Ahl, A. y Glosser, J. 1995. Risk Analysis Systems for veterinary biologicals. OIE Rev. Sci. Tech. 14(4) 925-935.

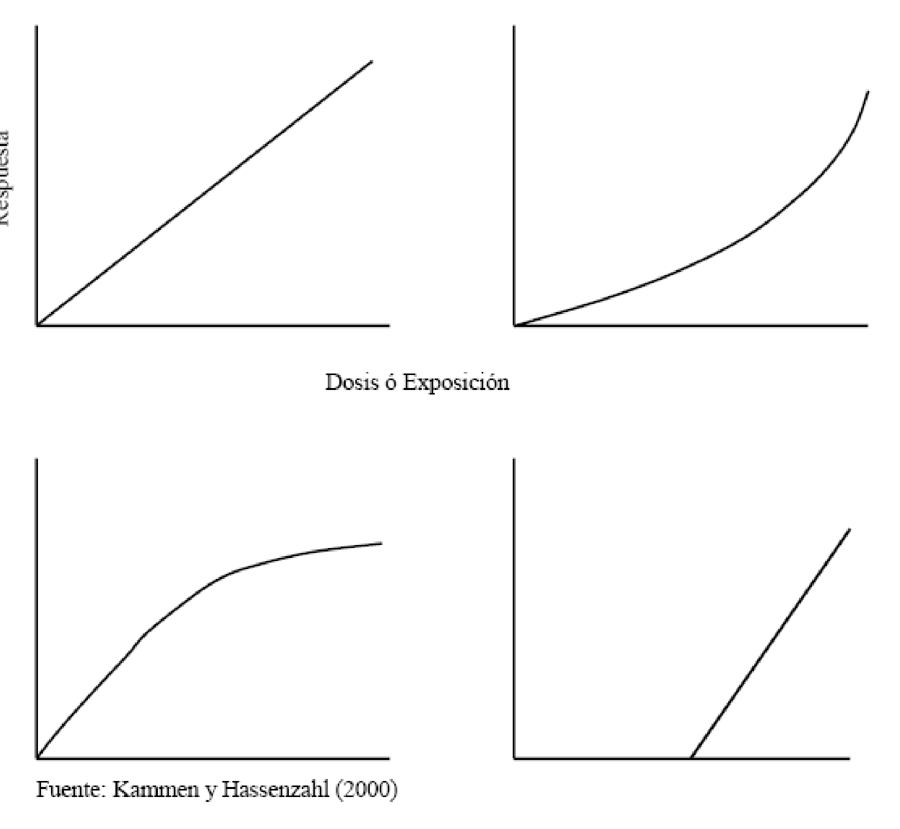
Thompson, K. 2001. Variability and Uncertainty meet risk management and communication. Working paper, NCSU/USDA Workshop on Sensitivity Analysis Methods.

U.S. EPA. 1997. Variability and Uncertainty. En: Exposure Factors Handbook, Vol. 1. Ch. 2.



Fuente: Morgan (1990)

Fig. 1. Relación Dosis-Respuesta



Fuente: Kammen y Hassenzahl (2000)

Fig. 2. Gráficos para ejercitación